



# ARVORAKENNUKSEN SISÄILMANLAADUN SELVITTÄMINEN JA RATKAISUVAIHTOEH- DOT

Niki Tajakka

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-tekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-tekniikka

TAJAKKA NIKI:

Arvorakennuksen sisäilmanlaadun selvittäminen ja ratkaisuvaihtoehdot

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Huhtikuu 2016

---

Kokkolan kaupungin hankkeistaman opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää historiallisesti arvokkaan rakennuksen, Roosin talon, ilmanvaihdon vaatimusten erityispiirteitä. Selvitysten perusteella haluttiin luoda käyttäjille, asiakkaille ja esineille stabiilit olosuhteet ympärivuotisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Kokkolan kaupungin tilapalveluille suunnitelmat kustannusarvioineen, sekä koneellisesta ilmanvaihdosta, että koneellisesta poistoilmanvaihdosta, joka toimii yhdessä kaasusammutusjärjestelmän kanssa. Opinnäytetyötä ohjasivat seuraavat kysymykset: Miten Roosin talon sisäilmanlaatua voi parantaa? Miten yhdistää koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen ilmanvaihto kaasusammutusjärjestelmään?

Lähdemateriaali teoriaosuuteen ja tutkimuksiin kerättiin Tampereen ammattikorkeakoulun tietokannoista, Kokkolan kaupungin arkistoista ja tietokannoista, sekä talotekniikan alan kirjallisuudesta. Kerättyjä tietoja hyödynnettiin tutkimustuloksia analysoidessa ja niiden pohjalta luotiin vaihtoehtoja toimivammalle ilmanvaihtoratkaisulle. Ilmanvaihtosuunnitelmat ovat opinnäytetyön liitteenä.

Tutkimustietoa 1800-luvun alun vastaavista kohteista ja niiden koneelliseksi muutetuista ilmanvaihtoista ei löytynyt. Tilaajan toiveena oli arvorakennuksen kunnioittaminen mahdollisimman vähin muutoksin, joita arvioidaan tapauskohtaisesti. Lämpökamerakuvausten ja olosuhdemittausten pohjalta tehdyissä suunnitelmissa pyrittiin kunnioittamaan tilaajan toiveita ja samalla luomaan hyvät olosuhteet asiakkaille ja työntekijöille.

Sisäilmanlaadun tarkemman selvittämisen kannalta olisi tärkeää tehdä olosuhdemittauksia ympäri vuoden ja liittää niihin myös rakenteiden päästöistä lähtöisin olevat mittaukset. Tutkimuksia voisi jatkaa selvittämällä rakenteiden ja materiaalien mahdollisia päästöjä sisäilmaan.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Building Services Engineering  
HVAC

TAJAKKA, NIKI:  
Indoor Air Quality Research and Solution for Historically Valuable Building

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages  
April 2016

---

This thesis was made as a project for city of Kokkola to determine the ventilation requirements for a historically valuable building, the Roos house. The aim was to carry out an investigation that could be used as a basis for creating a stable environment all year around for users, customers and items. The thesis was made for the department of building services including plans with a cost estimate for mechanical ventilation and mechanical extract air ventilation that works with a gas extinguishing system. The following questions acted as the starting point: How can the indoor air quality in the Roos house be improved? How to connect mechanical extract air ventilation or mechanical ventilation with a gas extinguishing system?

Material for the theory part and investigations was collected from Tampere university of Applied Sciences databases, the archives and databases of city of Kokkola and also from building services literature. Information found was used in the analysis of the investigation data and based on the results choices for properly working ventilation solutions were made.

There are no research work from similar from early 1800 buildings converted into mechanical ventilation. The client did not want to make radical changes into the structure of the building. All structural changes will be evaluated separately. Plans based on thermographic camera pictures and clarification of circumstances were made respecting the client's will not to make too radical changes in the building structures as well as creating a good environment for the customers and users.

In order to more accurately determine the indoor air quality it would be important to analyse the conditions all year and also carry out tests to determine emissions from the buildings materials and structures. Research could be followed by determining emissions from materials and from structures.

---

Key words: hvac, ventilation, valuable building.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus .....	5
2	TEORIA .....	7
2.1	Sisäilmasto .....	7
2.1.1	Lämpöolot .....	7
2.1.2	Sisäilmaston mittaaminen .....	8
2.2	Ilmanvaihtojärjestelmät ja ilmastointijärjestelmät.....	11
2.3	Ilmanjakotavat .....	13
2.4	Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus .....	14
2.5	Sammutuslaitteisto.....	14
2.5.1	Sammutuslaitteiston hankinnan perusteet .....	15
2.5.2	Kaasusammutuslaitteiston toimintaperiaate.....	15
2.5.3	Käytettävät sammutteet.....	16
3	TUTKIMUKSELLINEN OSUUS .....	17
3.1	Kohde.....	17
3.1.1	Kaasusammutusjärjestelmä .....	18
3.1.2	Nykyinen ilmanvaihto .....	19
3.2	Havainnot ja suoritettut tutkimukset.....	21
3.3	Olosuhdemittaus .....	22
3.3.1	Mittaus 1 .....	22
3.3.2	Mittaus 2 .....	23
3.4	Tulokset .....	24
4	RATKAISUVAIHTOEHDOT .....	25
4.1	Koneellinen tulo- poistoilmanvaihto .....	25
4.2	Koneellinen poistoilmanvaihto .....	26
5	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET .....	32
	Liite 1. Ensimmäisen kerroksen lämpökamerakuvaus ja olosuhdemittausten paikat. (Kokkolan Kaupunki 2008.) .....	32
	Liite 2. Toisen kerroksen lämpökamerakuvaus ja olosuhdemittausten paikat. (Kokkolan Kaupunki 2008.) .....	33

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Kokkolassa sijaitsevan Roosin talon sisäilmanlaadun selvittäminen ja sen mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot. Roosin talo valmistui vuonna 1813 ja se rakennettiin alun perin asuinrakennukseksi. Historiallisesti arvokas kivitalo toimii nykyään Keski-Pohjanmaan maakuntamuseona nimellä K.H. Renlundin museo.

Aihe opinnäytetyölle tuli ollessani ammatillisessa harjoittelussa Kokkolan kaupungin tilapalvelussa kesällä 2016. Museorakennuksen käyttäjien mukaan ilmanlaadussa on ongelmia etenkin kesäisin suurien ryhmien ollessa sisällä, jolloin sisäilma koetaan tunkaiseksi. Käyttäjät kertoivat ongelmien alkaneen kaasusammutusjärjestelmän rakentamisen jälkeen.

Vuonna 2008 museoon asennettiin kaasusammutusjärjestelmä, jonka sammutteena käytetään argonia. Museon tilat on jaettu seitsemään paloalueeseen. Eri paloalueiden rajat on tiivistetty niin, että palon sattuessa ovet sulkeutuvat itsestään, ja siirtoilmareitit on varustettu ylipainepelleillä. Rakennuksen ilmanvaihdesta vastaa yksi kanavapuhallin, joka poistaa ilmaa kosteista tiloista, WC-tiloista ja yhdestä näyttelytilasta.

Opinnäytetyöraportissa selvitetään sisäilman laatua olosuhdemittarilla tehtyjen mittausten perusteella. Mitattuja suureita ovat lämpötila, hiilidioksiditaso ja suhteellinen kosteus. Ikkunarakenteiden tiiviyyttä selvitettiin ottamalla lämpökamerakuvia rakennuksen ikkunoista. Mittauksista ja kuvista saadut tulokset analysoitiin sekä raportoitiin, ja niitä käytettiin ratkaisuehdotusten pohjana. Raportissa tuodaan esille myös nykyisen ilmanvaihdon ja suuren käyttäjämäärän tuomat rajoitteet.

### 1.1 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää historiallisesti arvokkaan rakennuksen ilmanvaihdon vaatimusten erityispiirteitä, sekä luoda Roosin talon käyttäjille, asiakkaille ja esineille stabiilit olosuhteet ympärivuotisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä Kokkolan kaupungin tilapalveluille ratkaisuehdotuksia kustannusarvioineen, sekä ko-

neellisesta ilmanvaihdosta, että koneellisesta poistoilmanvaihdosta, joka toimii yhdessä kaasusammutusjärjestelmän kanssa.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset:

- 1) Miten Roosin talon sisäilmanlaatua voi parantaa?
- 2) Kuinka yhdistää koneellinen poistoilmanvaihto tai koneellinen tulo- poistoilmanvaihto kaasusammutusjärjestelmään?

## 2 TEORIA

### 2.1 Sisäilmasto

Sisäilmasto vaikuttaa ihmisten terveyteen ja viihtyisyyteen. Tähän kuuluvat esimerkiksi rakennukseen vaikuttavat fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Nämä voidaan jakaa lämpöoloihin ja sisäilman laatuun. (Säteri & Koskela 2014, 37.)

#### 2.1.1 Lämpöolot

Lämpöoloilla tarkoitetaan lämpötilan, ilman virtausten, sekä tilan pintojen lämpösäteilyn yhteisvaikutusta. Lämpöolot vaikuttavat ihmisten viihtyvyyteen, tuottavuuteen ja terveyteen. Oikeilla lämpöoloilla ihmiset ovat virkeämpiä ja tehokkaampia. Oikeat lämpöolot ovat kuitenkin subjektiivinen kokemus, eikä ole mahdollista saavuttaa kaikkia miellyttäviä lämpöoloja. Lämpötila on silloin oikea, kun ei osata sanoa tulisiko lämpötilaa nostaa vai laskea. Vaikka lämpöviihtyisyyteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu jo useita vuosikymmeniä yksiselitteisiä vastauksia olosuhteiden suunnitteluun ei vielä kuitenkaan ole. Myös nykyisillä ilmastointitekniikoilla toteutetuissa kohteissa vetovalitukset ovat normaaleja. Suurin osa rakennusten kuluttamasta energiasta kuluu oikeiden lämpöolosuhteiden tuottamiseen. (Säteri & Koskela 2014, 37–38.)

Lämpöolosuhteita voidaan mallintaa erilaisin keinoin. Olosuhdesimuloinnin perustana on pidetty 1970-luvulta asti professori Ole Fangerin tekemiä laajoja laboratoriotutkimuksia. Nämä tulokset löytyvät standardista SFS-EN ISO 7730. Fangerin tutkimusten tuloksena oli PMV-malli ja 1990-luvulla se toimi perustana adaptiiviselle lämpöviihtyisyysmallille. (Säteri & Koskela 2014, 37–38.)

PMV eli Predicted Mean Vote mallissa arvioidaan aineenvaihdunnan energiantuottoa, vaatetuksen lämmöneristävyyttä, ympäröivän ilman lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, ympäristön keskimääräistä säteilylämpötilaa ja ilman liikenopeutta. Mallin perustana on kehon lämpötasapainon säilyttäminen, jolloin kehon lämpötila ei nouse yli 37°C. Mitä enemmän henkilö rasittaa itseään fyysisesti, sitä enemmän keho tuottaa

lämpöä. Jotta ylimääräinen fyysisestä rasituksesta tullut lämpömäärä siirtyisi ympäristöön, tulee tilan lämpötilan olla optimaalinen. (Säteri & Koskela 2014, 38–39.)

Lämpöaistimusta kuvataan 7-pisteisellä asteikolla, johon kuvataan myös tyytymättömyyden osuudet, PPD eli Predicted Percentage of Dissatisfied. Joukon lämpöaistimuksissa pyritään keskiarvoltaan neutraalitilaan, jolloin on saavutettu opitimi-lämpötila. Mallin mukaan parhaimmillaankin joukosta on vähintään 5% tyytymättömiä. Tämä malli ei ota huomioon ihmisen kykyä adaptoitua lämpötilan muutoksiin ja olettaa ihmisen voivan muuttaa ainoastaan vaatetustaan. PMV-mallissa on kolme laatuluokkaa, jotka on määritetty tyytymättömien osuuden mukaan. Laatuluokat ovat 6%, 10% ja 15%. Käytännössä mallin mukaan ennustettujen tyytymättömien osuus on huomattavasti suurempi, sillä se vaatisi niin tarkkaa jatkuvaa lämpöolosuhteiden säätelyä johtuen aineenvaihdunnasta ja pukeutumisesta. (Säteri & Koskela 2014, 38–39.)

Adaptiivisessa lämpöviihtyisyysmallissa käytetään pitkän ajan ulkolämpötilaa mittarina optimaaliselle sisälämpötilalle. Tässä mallissa korostetaan ihmisen kykyä mukautua muuttuvaan lämpötilaan, jolloin ihminen joko tietoisesti tai alitajuntaisesti vähentää vaatetustaan tai aktiivisuustasoaan. Tutkimuksissa on myös havaittu, että ihmiset, joiden tiloissa ei ole käytössä koneellista jäähdytystä hyväksyvät lämpötilan muutokset sisällä, toisin kuin ihmiset, joiden tiloissa on käytössä koneellinen jäähdytys. (Säteri & Koskela 2014, 38–39.)

### **2.1.2 Sisäilmaston mittaaminen**

Sisäilmamittauksilla pyritään selvittämään sisäilman nykyinen tila, päästäänkö asetettuihin tavoitearvoihin, sekä selvittämään mahdollisten ongelmien lähteet. Sisäilmaa voidaan mitata monin eri tavoin, kuten ilmanvaihtomäärien ja painesuhteiden perusteella, lämpötilamittauksin, mittaamalla ilman virtausnopeutta tiloissa, kosteutta sisäilma-  
sta, tilojen melutasoja ja mittaamalla ilman laatua. (Säteri & Koskela 2014, 69.)

Rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaan suunniteltujen ilmavirtojen tulee olla 20% sisällä suunnitelluista arvoista ja kokonaisilmamäärän tulee olla 10% sisällä suunnitelluista arvoista. Ilmamääriä ja -virtoja voidaan mitata joko päätelaitteista tai suoraan kanavasta. Kanavasta ilmavirran mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi mittalaipasta tai



mitata dynaamista painetta pitot-putkella. Pitot putken dynaamisesta paineesta voidaan mitata virtausnopeus alla olevalla kaavalla (1). (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 23; Säteri & Koskela 2014. 69–70.)

$$v = \sqrt{2p_d/\rho} \quad (1)$$

Jossa,	$v$	= Virtausnopeus putkessa (m/s)
	$p_d$	= Ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
	$\rho$	= Dynaaminen paine (Pa)

Kanavan virtausnopeus mitataan yleensä viidestä eri kohdasta, koska virtausnopeus ei ole kanavassa joka puolella sama. Tätä kutsutaan 5-pistemenetelmäksi. Mittauksissa on myös huomioitava, että mutkat ja kanavavarusteet vaikuttavat aiheuttaen häiriöitä mitaustuloksiin. Suositeltavana etäisyytenä mittauskohdasta ja viimeisestä kanavavarusteesta tai mutkasta voidaan pitää viisinkertaista kanavan halkaisijan mitta. Tulo- ja poistoilmalaitteiden ilmavirtoja mitataan paine-eron perusteella. Osassa päätelaitteista on mittaletkuja, joista saadaan mitattua paine-ero. Poistoilmaventtiileissä on ruuvattava kara, jonka aukioloasento määrittää venttiilin k-arvon Laitteiden valmistajilla on taulukoita, joista saadaan kyseisen laitteen k-arvo, jonka perusteella kaavaan (2) sijoitettaessa saadaan päätelaitteen ilmavirta. (Fläkt Woods Oy 2010, 1; Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 23; Säteri & Koskela 2014, 69–70.)

$$q = k\sqrt{\Delta p_m} \quad (2)$$

Jossa,	$q$	= Ilmavirta (l/s)
	$k$	= K-arvo taulukosta
	$\Delta p_m$	= Paine-ero päätelaitteesta

Normaalitilanteessa ilmavirrat kulkevat puhtaammiksi luokitelluista tiloista kohti likaisempia tiloja. Likaisiksi tiloiksi luetaan esimerkiksi WC-tilat, joista ilmaa ei saisi siirtoilmana kulkeutua muihin tiloihin. Siirtoilman liikkumiseen voidaan vaikuttaa painesuhteilla. Painesuhteiden mittaukseen eri tilojen välillä voidaan käyttää esimerkiksi merkkisavukokeita, jolloin nähdään miten ilma kulkeutuu tilasta toiseen. Painesuhteet voivat kuitenkin muuttua sääolojen, sekä ilmastointilaitteiston toiminnan mukaan. Pidemmän ajan paine-eromittauksia voidaan suorittaa tallentavilla paine-eromittareilla,

jolloin saadaan hyvä käsitys tilojen painesuhteista eri tilanteissa ja sääoloissa. (Säteri & Koskela 2014, 71.)

Lämpötilaa mitattaessa voidaan käyttää joko oleskeluvyöhykkeen ilman lämpötilaa tai operatiivista lämpötilamittausta. Jos pintojen pintalämpötilat ovat huomattavasti poikkeavat sisälämpötilasta käytetään operatiivista lämpötilamittausta. Pintojen lämpötiloja voidaan mitata esimerkiksi infrapunälämpömittarilla tai koskettavalla lämpömittarilla. Mitattaessa pintalämpötiloja on huomioitava, että metallin ja lasipintojen emissiviteetti eli pinnan kyky säteillä lämpösäteilyä voivat olla huomattavasti heikompia kuin muilla pinnoilla. Normaalitilanteessa pintojen emissiviteetti on luokkaa 0,9-0,95, mutta metallisilla ja lasisilla pinnoilla se voi olla huomattavasti pienempi. Operatiivinen lämpötila ottaa huomioon pintojen lämpösäteilyn vaikutukset. Mittareihin voidaan asettaa emissiviteetin arvo, jolloin päästään tarkempiin tuloksiin. Operatiivinen lämpötila voidaan määrittää pintojen keskimääräisestä lämpösäteilystä ja ilman lämpötilasta. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 5; Säteri & Koskela 2014, 71–73.)

Lämpöolosuhteiden tavoitearvoina käytetään viimeisen 24 tunnin ulkolämpötilan keskiarvoa lähimmältä säähavaintoasemalta ja verrataan sitä vallitsevaan operatiiviseen lämpötilaan. Sisäilmastoluokan S3 eli vähimmäisvaatimusten mukaan sisäilman tulisi pysyä ulkolämpötilasta riippuen pääsääntöisesti yhden asteen sisällä tavoitearvosta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei yleensä saisi olla yli 25°C rakennuksen käyttöaikana. (Sisäilmastoluokitus 2008 2009, 5–6; Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2012, 6.)

Liian suuri ilman liikenopeus aiheuttaa vedon tunteen. Kohdetta jäähdytettäessä tiloihin tuodaan sisälämpötilaa kylmempää ilmaa. Lämmin ilma on kylmää ilmaa kevyempää, jolloin lämmin ilma nousee ylös. Alilämpöisten tuloilmasuihkujen osuessa kiinteään esteeseen, kuten palkkiin tai valaisimeen, laskeutuu kylmempi ilma suoraan alas ja voi aiheuttaa vedon tunteen. Vedon tunne koetaan yleensä epämiellyttävänä. Kuumapalloanemometrillä voidaan mitata ilman liikenopeutta tilassa. Ilman liike on usein turbulentista, joten mittaustulos on aina ilmavirran mitattu keskinopeus. Sisäilmastoluokituksen mukaan normaalikohteessa ilman liikenopeus ei saisi nousta kesäisin yli 0,3m/s ja talvisin yli 0,2m/s, jotta säästyttäisiin vedon tunteelta. (Sisäilmaluokitus 2008 2009, 6; Säteri & Koskela 2014, 73–74.)

Seurantamittauksilla voidaan seurata kerralla useita eri suureita, jotka vaikuttavat sisäilmastoon. Mittauksilla voidaan seurata mittalaitteesta riippuen esimerkiksi lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, hiilimonoksidia, typen oksideja ja otsonipitoisuutta. Seurantamittauksia voidaan tehdä erillisillä mittareilla, joita on saatavana myös tallentavina tai suoraan esimerkiksi kiinteistöautomaatiikan kautta. Paras tulos seurantamittauksissa saadaan silloin kun se on jatkuvaa. Erillisellä mittalaitteella mittauksen tulisi kestää vähintään yhden vuorokauden ja mittauksia olisi hyvä tehdä eri vuodenaikoina, jotta saadaan mahdollisimman kattava kuva rakennuksen olosuhteista ympäri vuoden. (Säteri & Koskela 2014 75–76.)

Sisäilman laatuun vaikuttavat ilman lämpötila ja kosteus sekä kemialliset yhdisteet, hiukkaset ja mikrobit. Huono sisäilmanlaatu johtuu joko liian suurista epäpuhtauspäästöistä tai liian pienestä ilmanvaihdosta. Ihmisperäisten epäpuhtauksien mittarina pidetään hiilidioksidipitoisuutta. Formaldehydiä ja orgaanisia haihtuvia yhdisteitä mitataan VOC-kokeilla, joissa näytteet kerätään pumpulla keräinputkeen tai pidemmän ajan mittauksina passiivisilla keräimillä. Käyttäjien kokemaa sisäilmaa mitataan kyselyin tai haastatteluin, jolloin saadaan kartoitettua ongelman yleisyyttä, sijaintia ja millä tavoin käyttäjät kokevat sisäilman. (Säteri & Koskela 2014, 76–77.)

## **2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät ja ilmastointijärjestelmät**

Ilmanvaihtojärjestelmällä hallitaan sisäilman laatutavoitteita siten, että ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus perustuu sisäilman puhtauteen, ei lämpöoloihin. Ilmanvaihtojärjestelmää voidaan ohjata tarpeen mukaisesti ja käyttää myös viilennykseen tilanteissa, jolloin ulkoilma on sisäilmaa kylmempää. (Sandberg & Ripatti 2014, 113.)

Painovoimaista ilmanvaihtoa eli ilman mekaanisia puhaltimia toimivia ilmanvaihtojärjestelmiä käytettiin pääsääntöisesti aina 1970-luvulle asti. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa poistoventtiilit oli sijoitettu WC-tiloihin, keittiöön, pesutiloihin ja saunaan, joista ilmavirta johdetaan kanavia tai hormeja pitkin vesikatolle. Ilman vaihtuminen perustui sisä- ja ulkoilman tiheyseroihin ja kanaviston korkeuseroihin. Kaavalla (3) voidaan laskea tietyllä sisä- ja ulkolämpötilalla paine-ero. (Sandberg & Ripatti 2014, 114–115.)

$$\Delta p(h) = (\rho_{iulko} - \rho_{isisä})gh = \left(\frac{T_{sisä} - T_{ulko}}{T_{ulko}}\right)\rho_{isisä}gh \quad (3)$$

Jossa,	$\Delta p$	= Tiheyseroista syntyvä paine-ero (Pa)
	$\rho$	= Ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
	$g$	= Maan vetovoiman kiihtyvyys 9,81m/s <sup>2</sup>
	$h$	= Korkeusero (m)
	$T$	= Ilman absoluuttinen lämpötila (K)

Korvausilma tulee painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä suoraan vaipan läpi epäpuhtauksineen. Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää voidaan mitoittaa ainoastaan eri lämpötiloille ja korkeuseroille. Esimerkiksi kesällä virtaussuunta voi muuttua ulkoa sisälle. Myös tuuli vaikuttaa paine-eroon. (Sandberg & Ripatti 2014, 114–115.)

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä poistoilmaventtiilit asennettiin kuten painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, mutta vesikatolle asennettiin huippumuri. Huippumuri toimi tarpeenmukaisesti ja sitä ohjattiin yleensä liesikuvulta, jonka poistoilmavirtaa voitiin tarvittaessa tehostaa muiden ilmavirtojen pienentyessä. Järjestelmä vaati oviraot, jotta siirtoilmaa saatiin puhtaammista tiloista likaisempiin tiloihin. Yleensä korvausilma tuli, kuten painovoimaisessa järjestelmässä vaipan läpi, mutta myös yleensä jälkiasenteisten korvausilmaluukkujen läpi. Niitä asennettiin yleensä oleskelutiloihin, kuten olohuoneeseen ja makuuhuoneeseen. Etenkin talvisin korvausilmaluukujen ongelmana on ollut suuri vedon tunne, kun esilämmittämätöntä ilmaa on tullut sisälle. Koneellisia poistoilmanvaihtojärjestelmiä asennettiin 1960-luvun puolivälistä aina 1990-luvun loppuun asti. (Sandberg & Ripatti 2014, 115–116.)

Ilmastointijärjestelmillä hallitaan laatutavoitteiden lisäksi myös lämpöoloja. Ilmastointijärjestelmät mitoitetaan tilan jäähdytyskuorman perusteella. Ilmastointijärjestelmällä voidaan luoda yksilöllisiä sisäilmastoja ja hallita lämpöoloja myös kesällä, toisin kuin ilmanvaihtojärjestelmillä. Ilmastointijärjestelmät voidaan jakaa neljään eri luokkaan perustuen niiden tapaan tuoda jäähdytys tilaan. Näitä järjestelmiä ovat ilmajärjestelmät, ilma-vesijärjestelmät, vesijärjestelmät ja hajautetut järjestelmät. (Ripatti & Sandberg 2014, 129–130; Sandberg & Ripatti 2014, 113.)

## 2.3 Ilmanjakotavat

Ilmanjakotavat ovat erilaisia menetelmiä tuoda tilaan ilmaa. Ilmanjakotavat voidaan jakaa neljään pääperiaatteeseen: mäntä-, kerrostuma, vyöhyke- ja sekoitusperiaatteeseen. Näitä ilmanjakotapoja käytetään esimerkiksi teollisuudessa, julkisissa rakennuksissa ja tavanomaisissa kohteissa. Kaikilla eri ilmanjakotavoilla on paikkansa ilmastointia suunniteltaessa kohteesta ja tarpeesta riippuen. (Kosonen & Sandberg 2014, 226; Sandberg & Ripatti 2014, 113–228.)

Mäntäperiaatteella yhdeltä puolelta tilaa puhalletaan tuloilmaa ja luodaan tasainen virtauskenttä. Mäntäperiaatteella tarvitaan suuria ilmamääriä, jotta virtaus pysyy häiriötömänä. Tätä periaatetta käytetään esimerkiksi puhdastiloissa ja leikkaussaleissa, joissa vaaditaan äärimmäisen puhdasta ilmaa. (Kosonen & Sandberg 2014, 226–227.)

Kerrostumaperiaatteen eli syrjäyttävän ilmanjaon tarkoituksena on kerrostaa ilmaa tuomalla alilämpöistä ilmaa lattiatasoon ja viedä konvektiovirtausten avulla epäpuhtaudet kohti katossa sijaitsevia poistolaitteita. Tavoitteena siis syrjäyttää epäpuhtaudet puhtaalla ilmalla ja saada ilma kerrostumaan siten, että epäpuhtaudet liikkuvat kohti kattoa. Kerrostumaperiaatetta käytetään esimerkiksi kouluissa, teattereissa ja teollisuudessa. (Kosonen & Sandberg 2014, 226–228.)

Vyöhykeperiaatteessa olosuhteita pyritään hallitsemaan vain tiettyyn korkeuteen asti ja sen yläpuolelle annetaan epäpuhtauksien kerrostua. Tämä vaatii huomattavasti alilämpöistä ilmaa, jotta saadaan aikaan riittävän suuret konvektiovirtaukset. (Kosonen & Sandberg 2014, 227.)

Sekoittavalla ilmanjaolla luodaan tasaiset olosuhteet tilaan, jolloin epäpuhtauksien määrä on sama joka puolella. Tuloilmalla laimennetaan epäpuhtauspitoisuuksia ja pidetään ne halutuissa rajoissa. Sekoittava ilmanjako on yleisimmin käytetty ilmanjakotapa tavanomaisissa kohteissa. (Kosonen & Sandberg 2014, 227–228.)

## 2.4 Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus

Ilmanvaihtojärjestelmät tulee mitoittaa vähintään Rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaisten minimi-ilmavirtojen mukaisesti. Tällä päästään sisäilmastoluokituksen mukaiseen S3 tasoon, joka on määräysten mukainen minimitaso. Tavanomaisessa tilanteessa rakennusten tulo- ja poistoilmavirrat pyritään mitoittamaan tasapainoon, jossa tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret. Asuinrakennuksissa tulisi kuitenkin pyrkiä 5-10 % alipaineisuuteen, jotta sisällä tuleva kosteus ei pääsisi kulkeutumaan rakenteiden sisään ja tiivistymään sinne. (Sandberg & Koskela 2014, 97.)

Ilmavirtoja voidaan mitoittaa ohjearvojen, lämpö- ja kosteuskuormien ja epäpuhtauskuormien perusteella. Normaalitilanteessa kuitenkin käytetään ohjearvoja, ellei tilaaja aseta ohjearvoja tiukempia vaatimuksia, eikä ole muita syitä, kuten suuri ihmismäärä perustelemaan suurempia ilmavirtoja. Teollisuudessa ilmamääriä arvioidaan prosessien epäpuhtauskuormien perusteella. Epäpuhtauskuormien perusteella mitoitettu tuloilmavirta voidaan mitoittaa kaavalla (4). (Sandberg & Koskela 2014, 98–100.)

$$q_{tulo} = \left( \frac{G_{CO_2}}{C_{olesk} - C_{tulo}} \right) \quad (4)$$

Jossa,	$q_{tulo}$	= Tuloilmavirta (m <sup>3</sup> /s)
	$G_{CO_2}$	= Huoneeseen tuleva epäpuhtausvirrat (cm <sup>3</sup> /s)
	$C_{olesk}$	= Sisäilman pitoisuustavoite (cm <sup>3</sup> /s)
	$C_{tulo}$	= Ulkoilman pitoisuus (cm <sup>3</sup> /s)

## 2.5 Sammutuslaitteisto

Sammutuslaitteiston määritelmä LVI 65-10512 ohjekortin mukaan:

Sammutuslaitteisto on kiinteästi asennettu laitteisto, joka on tarkoitettu palon sammuttamiseen tai pitämään se hallinnassa, kunnes lopullinen sammuttaminen saadaan tehtyä muilla menetelmillä. Sammutuslaitteistolla voidaan myös ylläpitää riittävää sammutepitoisuutta niin kauan, että uudelleen syttyminen estetään. (Rakennustietosäätiö 2012, 1.)

### **2.5.1 Sammutuslaitteiston hankinnan perusteet**

Sammutuslaitteiston hankinnan perusteena on usein joku seuraavista: lainsäädäntö, joka edellyttää rakennuksen varustamisen automaattisella sammutuslaitteistolla; pelastusviranomaisen vaatimus, jos toiminta tiloissa tai olosuhteet luovat normaalia suuremman vaaran ympäristölle, henkilö- tai paloturvallisuudelle; vakuutusyhtiön vaatimus sammutuslaitteistosta; rakennuttajan tarpeet, jolloin voidaan vaikuttaa rakennusmateriaaleihin ja saada tätä kautta säästöjä; rakennuttajan käyttäjän tarpeet, jolloin halutaan tilaajan vaatimusten mukaiseksi, joka voi vaikuttaa osastokokoihin ja täten vaatia sammutuslaitteiston. (Rakennustietosäätiö 2012, 1.)

### **2.5.2 Kaasusammutuslaitteiston toimintaperiaate**

Kaasusammutuslaitteistoa käytetään sammuttamaan palot automaattisesti heti palon alkuvaiheessa. Kaasulla joko lasketaan tilan happipitoisuus niin alhaiseksi, ettei palolla ole enää edellytyksiä palaa tai katkaistaan palamisen ketjureaktio. Kaasusammutuslaitteistoon kuuluvat sammutesäiliöt, putkisto johon kuuluvat suuttimet, paloilmajärjestelmä, sekä laukaisukeskus. Sammuttava kaasu on sammutesäiliöissä joko kaasuna tai nesteinä. Tilojen valvonnasta vastaa laukaisukeskus, joka on yleensä varustettu savuilmajärjestelmällä. Laukaisukeskus antaa joko viiveen jälkeen, tai vaihtoehtoisesti toisen samalla sammutusalueella tulleen hälytystiedon jälkeen ohjauksen säiliöventtiileille. Tämän jälkeen kaasu purkautuu suojattavaan tilaan, jossa palo on syttymässä tai syttynyt. Jakoverkkoventtiiliä käytetään silloin, kun halutaan suojata useita eri kohteita samalla kaasusammutuslaitteistolla. Laukaisukeskus antaa ohjauksen myös jakoverkkoventtiilille. (Rakennustietosäätiö 2012, 7.)

Tarvitaan kaksi erillistä hälytystä eri paloryhmien savuilmajärjestelmällä laukeaa. Tieto pelastuslaitokselle lähtee jo ensimmäisestä hälytyksestä. Järjestelmä voidaan laukaista myös käsin käsilaukaisupainikkeesta. (Rakennustietosäätiö 2012, 7.)

Kaasumäärä mitoitetaan sekä kohteen tilavuuden mukaan, että suojattavan kohteen palava materiaalin mukaan. Ensisijaisena kaasumäärän mitoituksena käytetään kuitenkin kohteen tilavuutta. Kaasusammutteen tyypistä riippuen purkaus aika voi olla kymmenestä sekunnista kymmeneen minuuttiin. Pitoajan eli ajan, jolloin happipitoisuus pysyy

sammuttavalla tasolla, tulee olla yleensä 10 minuuttia. Kaasun määrää valvotaan mekaanisilla vaa'illa tai painemittareilla ja paine'kytkimill' . Sammutus'ili'it on varustettu rajapaine'kytkimin, josta saadaan vikati'eto siin' tilanteessa, kun sammutteen m'äär' on alentunut yli kymmenell' prosentilla. (Rakennustietos'ääti' 2012, 8.)

### **2.5.3 Käytettävät sammutteet**

Inerttikaasu ei osallistu palotapahtumaan. Inerttikaasu koostuu joko yhdest' kaasusta tai useamman kaasun seoksesta. Inerttikaasu alentaa tilan happipitoisuutta niin paljon, ett' palolla ei ole en'ään edellytyksi' palaa. Inerttikaasut ovat v'ärittömi'. Yleensä sammutukseen käytettävät inerttikaasupitoisuudet eivät ole ihmisille vaarallisia. Inerttikaasut eivät johda sähk'ö'ä eiv'ätk' aiheuta korroosiota. (Rakennustietos'ääti' 2012, 8.)

Hiilidioksidi sammuttaa palon tukahduttamalla. Happipitoisuus laskee niin pieneksi ett' palo sammuu. Sammutuskäyt'össä hiilidioksidi on vaarallinen ihmisille, joten sen käyt't'ö'ä ei suositella kohteisiin, joissa on ihmisi' ilman erityisjärjestelyj'ä. Hiilidioksidi ei johda sähk'ö'ä, eik' aiheuta korroosiota. (Rakennustietos'ääti' 2012, 8.)

Halokarbonikaasun sammutusvaikutus perustuu kaasun hajoamiselle liekissä, jolloin se sitoo niin paljon lämp'ö'ä, ett' palo sammuu. Halokarbonikaasun m'äär'ä suojatuissa koh-teissa m'äär'äytyy tapauskohtaisesti. Sammutuskäyt'össä halokarbonikaasusta tulee hajoamistuotteina ihmisille haitallisia yhdisteitä. Halokarbonikaasut eivät johda sähk'ö'ä eiv'ätk' aiheuta korroosiota. (Rakennustietos'ääti' 2012, 8.)



### 3 TUTKIMUKSELLINEN OSUUS

#### 3.1 Kohde

Kohde on Kokkolan kaupungin omistama Roosin talo, josta käytetään myös nimeä K.H. Renlundin museo. Roosin talo toimii Keski-Pohjanmaan maakuntamuseona. Roosin talo on Andreas Roosin rakennuttama ja se on rakennettu neljään kerrokseen. Alin kerros toimi kellarina ja ylin kerros ullakkona. Alunperin kaksi keskimmäistä kerrosta olivat asuinkerroksia. Rakennus on pohjamitoiltaan 26m x 13m ja harjakorkeus on 15,5m. (Ahmas 1992, 44–45.)



KUVA 1. Roosin talo (Kuva: Niki Tajakka 2016)

Rakennus valmistui vuonna 1813 ja oli aikanaan yksi huomattavimmista yksityistaloista Kokkolassa. Rakennus oli mansardikattoinen kivitalo. Rakennuksen tyyli on vaikutteita rokokoosta ja kustavilaisesta uusklassismista. Kohteessa on aikojen saatossa toiminut yläalkeiskoulu, sekä pohjoismaiden Yhdyspankki, ennen kuin kaupunki osti kiinteistön vuonna 1961. Kohde peruskorjattiin 1980-luvulla arkkitehti Krister Korpelan johdolla. (Ahmas 1992, 44–45.)

### 3.1.1 Kaasusammutusjärjestelmä

Rakennukseen on asennettu kaasusammutusjärjestelmä vuonna 2008. Järjestelmä käyttää sammutuskaasuna argonia. Aiemmin kaasusammutusjärjestelmä on sijainnut ainoastaan kellarissa, jossa säilytettiin tauluja. Nykyisessä järjestelmässä rakennus on rajattu seitsemään paloalueeseen, joista 4 on suojattu kaasusammutusjärjestelmällä.

Sammutusjärjestelmän tarkoitus on suojella tauluja, sekä esineitä turmelematta niitä. Tilat ovat jaettu seitsemään palo-osastoon, joista neljä on suojattu kaasulla. Nämä tilat sisältävät tauluja ja muita museon esineitä. Normaalisti ilmassa on noin 21 tilavuusprosenttia happea. Järjestelmän lauetessa se laskee happipitoisuuden alle 12 tilavuusprosenttiin, jolloin palolla ei ole enää edellytyksiä palaa, mutta ihmiset voivat turvallisesti poistua tilasta.



KUVA 2. Laukaisukeskukset eri palo-osastoille (Kuva: Niki Tajakka 2016)

Eri osastojen välillä sijaitsevat ovet ovat tavallisesti auki magneettien avulla, mutta sulkeutuvat hälytyksen tullessa. Eri osastojen välit on myös varustettu ylipainepellein, jolloin ylimääräinen paine pääsee purkautumaan ennen kuin ovet tai ikkunat antaisivat periksi. Poistoilmakanavat on myös varustettu palopellein, jotka automatiikka sulkee

hälytyksen lauetessa. Palopellit on kytketty automatiikkaan VAC:n kautta. Oleellista on siis saada tilasta riittävän tiivis järjestelmän lauetessa. Järjestelmän suunnittelijan mukaan rakennuksen normaali tiiveys on riittävä. Hälytyksen tullessa vain sen osaston sammutusjärjestelmä laukeaa.



KUVA 3. Sammutesäiliöt (Kuva: Niki Tajakka 2016)

### 3.1.2 Nykyinen ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on nykyisin toteutettu yhdellä Kanalfläkt K 200 M kanavapuhaltimella, joka poistaa ilmaa WC-tiloista, sekä yhdestä näyttelytilasta. Kohteessa on myös toinen kanavapuhallin, Kanalfläkt K 160 M, joka toimii vetokaapin poistona. Kanavapuhallin on kello-ohjattu ja se on tunnin kerrallaan päällä ja sen jälkeen tunnin pois päältä.



KUVA 4. Kanavapuhaltimet eristeessä ullakolla (Kuva: Niki Tajakka 2016)

Vanhoissa ilmanvaihtokuvissa mitoitusilmavirtana on 120 l/s. Tällä poistoilmavirralla rakennuksen näyttelytiloissa vaihtuisi ilma kerran viidessä tunnissa, jos huippumuri olisi koko ajan päällä. Nykyisellä kello-ohjauksella, jolloin kanavapuhallin pyörii joka toinen tunti, ilma vaihtuu kerran kymmenessä tunnissa. Vetokaapin kanavapuhallinta käytetään satunnaisesti.



KUVA 5. Nykyinen kanavapuhallin (Kuva: Niki Tajakka 2016)



### 3.2 Havainnot ja suoritettut tutkimukset

Lämpökamerakuvauksen tarkoituksena oli selvittää ikkunoiden mahdolliset ilmavuodot ja vuotokohdat. Kuvaukset suoritettiin sunnuntaina 29.11.2015 Roosin talolla kello 11.00-12.00 välisenä aikana. Lämpökamerana toimi Flir 2C. Sisälämpötilana oli noin 20,5°C. Ulkolämpötila oli 1.4-1.7 asteen välillä ja suhteellinen kosteus 93%-94% kuvausten aikana. Ulkolämpötilat on saatu ilmatieteenlaitoksen Kokkolan Hollihaan mittauspisteestä, joka sijaitsee kohteesta noin 1,3km pohjoiseen. Tila todettiin 2 Pascalia alipaineiseksi Kimo DBM 610 paine-ero mittarilla. Olosuhteet olivat kuvaushetkellä ohjetiedosto RT 14-10850 mukaiset. Kuvia otettiin 10 eri ikkunasta eripuolilta rakennusta, jotta saatiin kattava kokonaiskuva ikkunoista ja niiden vuodoista (liite 1 ja 2). Kaikista rakennuksen ikkunoista 25% kuvattiin.



KUVA 6. Ikkunan lämpökamerakuva (Kuva: Niki Tajakka 2016)

Jouko Kätevän muistikuvien mukaan ikkunoita oli kunnostettu 1980-luvulla, mutta ikkunoiden puitteet ja lasit ovat tätäkin vanhempia. Tästä saneerauksesta ei ole säilynyt dokumentteja ja herra Kätevä oli ainoa tunnettu tai elossa oleva henkilö, joka oli ollut saneerauksessa mukana. Ikkunat ovat kaksilasisia, joka johtaa huonon lämmöneristävyyden takia konvektiovirtauksiin ikkunoiden lähellä. Konvektiovirtauksista johtuen ei voida kuitenkaan olettaa ikkunoiden alaosien kylmempien rakenteiden täysin johtuvan ilmavuodoista vaan sen olevan konvektiovirtausten ja ilmavuotojen summa.

Kuvasta 2 nähdään, että puitteiden läpi pääsee vuotamaan ilmaa, koska ylimmän jakopuitteen lämpötiloissa on huomattavia eroja. Kuvassa jakopuite on oikealta puoleltaan useita asteita kylmempi kuin vasemmalta puolelta. Samaa on myös havaittavissa alapuolen karmissa, joka on myös oikealta puolelta kylmempi kuin vasemmalta puolelta. Tämä ero ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin ylimmässä jakopuitteessa. Koska kuvanottohetkellä aurinko ei paistanut, eikä ollut muitakaan syitä joidenka takia puitteiden ja karmien puolien lämpötilaeroja voitaisiin perustella, voidaan tehdä johtopäätös siitä, että puitteet ovat epätiivitä ja niissä on ilmavuotoja.

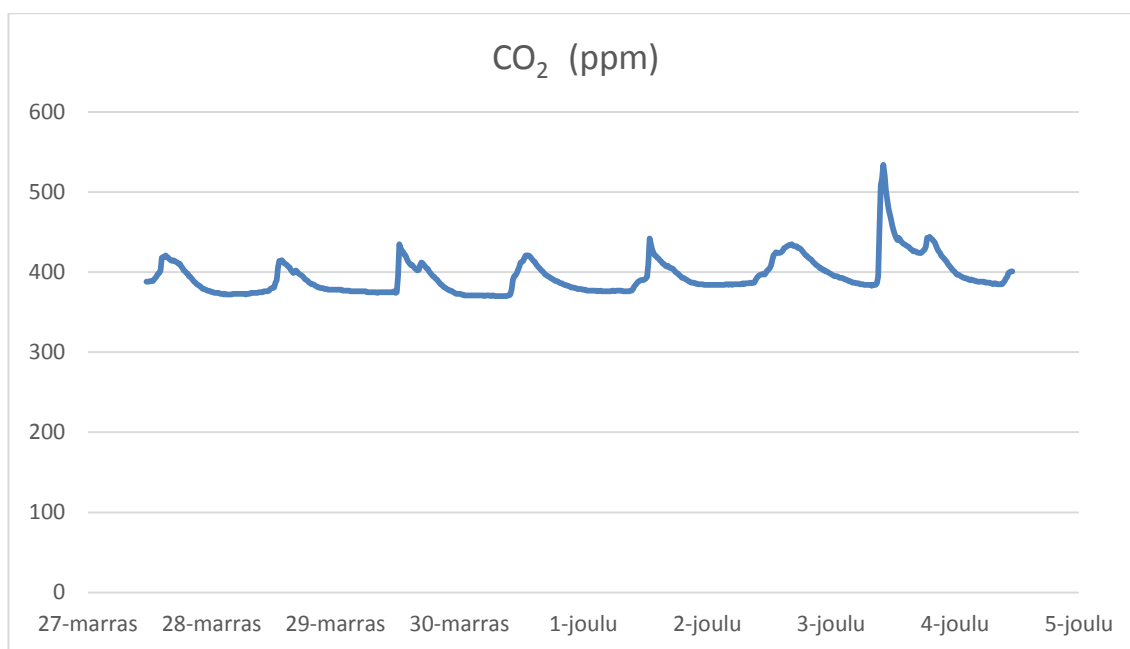
### **3.3 Olosuhdemittaus**

Olosuhdemittausten tarkoituksena oli selvittää tilojen sisäilman laatu. Mittauksissa mitattiin lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Mittauksissa käytettiin HD21AB17 Indoor Air Quality Monitoria. Mittari asetettiin mittaamaan oleskelualueelle. Mittausaika oli viikko ja mittaukset suoritettiin kahdessa eri osassa. Mittaukset suoritettiin 27.11.2015-11.12.2015 välisenä aikana. Ensimmäisessä osassa mittaukset tehtiin toisessa kerroksessa ja toisessa osassa ensimmäisessä kerroksessa. Ensimmäisen kerroksen mittausten aikana tiloissa järjestettiin näyttely, johon osallistui 58 henkilöä.

#### **3.3.1 Mittaus 1**

Ensimmäinen olosuhdemittaus suoritettiin toisessa kerroksessa 27.11.2015-4.12.2015 välisenä aikana. Mittauksen aikana vierailijoita oli museossa työntekijöiden lisäksi yhden päivän aikana enimmillään 8 henkilöä. Tänä aikana hiilidioksidipitoisuus pysyi koko ajan alle 600ppm tasolla.

Mittari sijoitettiin liitteen 2 mukaan huoneeseen 210. Mittari sijaitti 60cm seinästä lattialla, jolloin se oli oleskelualueella. Sijoituspaikka valittiin sen mukaan mihin mittari oli henkilökunnan mukaan mahdollista sijoittaa. Ainoa paikka toisessa kerroksessa, johon mittarin pystyi sijoittamaan oli tilassa huoneen 210 lattia. Esteettisistä syistä johtuen mittaria ei saanut sijoittaa korkeammalle, esimerkiksi pöydälle.

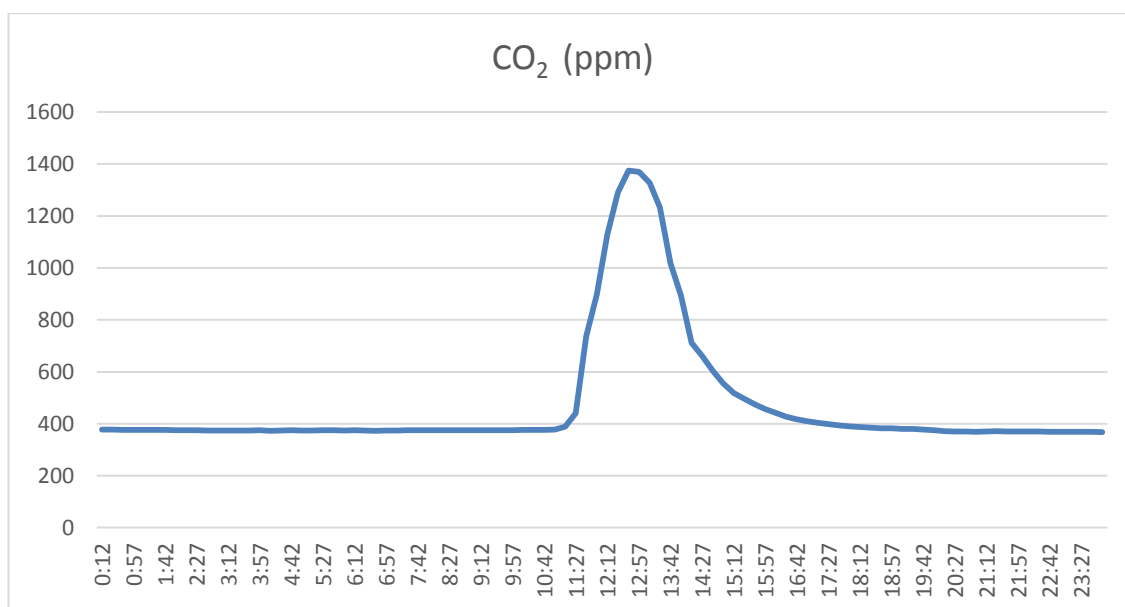


KUVAAJA 1. Mittaus 1 toisessa kerroksessa 27.11.2015-4.12.2015

### 3.3.2 Mittaus 2

Toinen olosuhdemittaus suoritettiin ensimmäisessä kerroksessa 4.12.2015–11.12.2015 välisenä aikana. Lauantaina 5.12.2015 museon tiloissa järjestettiin tapahtuma, jolloin museon tiloissa oli yhtä aikaa n. 60 ihmistä samassa tilassa, jossa mittaus suoritettiin. Tänä aikana hiilidioksiditaso oli korkeimmillaan 1375ppm. Hiilidioksidi taso oli yli 1200ppm noin tunnin ajan. Rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden tulisi olla tilan käyttöaikana yleensä enintään 1200ppm. Tilan lämpötila nousi enimmillään 22,6°C. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 7)

Mittauksen toisessa osassa ensimmäisessä kerroksessa mittari sijoitettiin näyttelyhalliin 122 liitten 1 mukaisesti. Mittari oli 60cm seinästä lattialla, jolloin se sijaitsi oleskelualueella. Sijoituspaikka valittiin museon henkilökunnan avustuksella sisäseinän viereen, josta oli lyhyt matka pistorasiaan, jotta olosuhdemittaria voitiin ladata.



KUVAAJA 2. Mittaus 2 ensimmäisessä kerroksessa näyttelypäivänä 5.12.2015

### 3.4 Tulokset

Hiilidioksiditasoa käytettäessä ilmanlaadun mittarina tilassa oli suurimman osan ajasta erittäin hyvä ilmanlaatu. Näyttelyn aikana hiilidioksidipitoisuus nousi hetkellisesti yli rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaisen 1200ppm rajan yli. Lämpötila nousi enimmillään 2°C, jota voidaan pitää maltillisena. Tiloissa on suuri määrä tilavuutta, reilu 2000 kuutiota kahdessa näyttelykerroksessa, joten vaaditaan suuria ihmismääriä, jotta hiilidioksidipitoisuus nousisi. Suurimman osan ajasta tilanne on hiilidioksidipitoisuuden osalta täysin hallinnassa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 7)



## 4 RATKAISUVAIHTOEHDOT

Ratkaisuvaihtoehtojen lähtökohtana oli luoda olosuhteet hyvälle ja tasalaatuiselle sisäilmalle. Nykyisessä muodossaan koneellinen poisto ei riitä kuormitustilanteissa, jolloin museossa on paljon asiakkaita kerralla. Ratkaisuvaihtoehtoja tehtiin kaksi, koneellinen tulo- poistoilmanvaihto, sekä koneellinen poistoilmanvaihto. Koska rakennus on suojelukohde ei ilmanvaihdon tule välttämättä tule noudattaa rakennusmääräyskokoelman osan D2 määräyksiä, vaikka rakennuslupa tarvittaisiin, vaan tällöin asiasta päättävät erikseen lupaviranomaiset yhdessä kaupungin arkkitehdin ja museoviraston kanssa. Ratkaisuvaihtoehtojen pohjana käytettiin tutkimustuloksia ja ratkaisuehdotuksia valmisteltaessa otettiin huomioon tilaajan esittämät toiveet ja vaatimukset.

### 4.1 Koneellinen tulo- poistoilmanvaihto

Ensimmäinen ratkaisuvaihtoehto on koneellinen tulo- poistoilmanvaihto. Mitoituksena käytettiin rakennusmääräyskokoelman osaa D2 rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Mitoituksena käytettiin näyttelytilojen osalta taulukkoa 8, jossa ulkoilmavirran tulee olla 4 litraa neliötä kohden ja muilta osin niille soveltuvia mitoitusaulukoita rakennusmääräyskokoelman osasta D2. Näillä ohjearvoilla päästiin kokonaisulkoilmavirtaan 2,3 kuutiota sekunnissa kahden näyttelykerroksen osalta. Tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret, eikä tilaa mitoiteta alipaineiseksi. Tilaajalta saamieni ohjeiden mukaan museoon ei tule jäähdytystä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 30)

Ilmanvaihtokoneeksi valitsin Fläkt Woodsin acon valintaohjelmalla aQ Prime ilmapuhaltuskoneen, joka on varustettu vastavirtalevylämmönsiirtimellä, jolloin myös WC-tilojen ilmasta voidaan ottaa lämpöä talteen. Koneessa on sekä vesikiertoiset esi-, että jälkilämmityspatterit.

Ilmanjakotapana on syrjäyttävä ilmanjako, jolloin päästään korkeissa, pääsääntöisesti noin 3,5m, tiloissa hyvään ilmanlaatuun. Tuloilmalaitteena käytettiin Fläkt Woodsin DVQA:ta, jolloin ilmaa saadaan levitettyä pienellä ilmannopeudella huoneeseen, eikä vaarana ole, että ilma ei laskeutuisi oleskeluvyöhykkeelle. Ilmanvaihtokoneen ohjaus

tapautuu poistoilmavirran hiilidioksiditasojen perusteella. Kesäisin voidaan käyttää yö-tuuletusta tilojen viilennykseen.

Ilmanvaihtokone, sekä palopellit kytketään VAC:iin. josta ne saavat tarpeen vaatiessa ohjauksen laukaisukeskukselta. Palopeltejä asennetaan eri paloalueiden, sekä eri palo-osastonjen väliin. Palopeltien määrälle ei ole rajoitteita VAC:n tai laukaisukeskuksen suhteen.

Tässä ratkaisussa tarvitaan paljon uusia läpivientejä, mutta päästää ilmanlaadun osalta hyviin tuloksiin. Vastavirtalevylämmönsiirtimen avulla ilmanvaihtokone on myös hyvin energiataloudellinen, eikä poistoilmasta saatavaa lämpöä puhalleta ulos rakennuksesta tarpeettomasti. Koneellisen ilmanvaihdon kustannusarvio ilman rakennusteknisiä töitä ja automaatiota on 110 000€ verollisena. Kustannusarvion tekoon on käytetty Ecom kustannuslaskentaohjelmistoa. Kustannusarvio on suuntaa-antava.

## 4.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Toinen ratkaisuvaihtoehto on huomattavasti kevyempi ratkaisu, jossa nykyistä poistoilmanvaihtojärjestelmää suurennettaisiin. Tässä ratkaisuvaihtoehdossa rakenteisiin ei tarvitsisi tehdä suuria muutoksia, vaan pyritään luomaan paremmat olosuhteet mahdollisimman vähillä rakenneteknisillä töillä. Muutoksen perustana olisi vaihtaa nykyinen 200mm runkokanava 400mm runkokanavaan. Nykyisiä läpivientejä täytyisi siis laajentaa, jotta uusi suurempi kanava saataisiin asennettua.

Ulkoilmavirran mitoituksessa käytettiin kaavaa (4) ja mitoitustilanteen ihmismääränä 70 henkilöä ja yhden henkilön hiilidioksidipäästöjen määränä  $6,7\text{cm}^3/\text{s}$ . Hiilidioksiditason tavoitetasoksi asetettiin 1200ppm ja ulkoilmavirran hiilidioksiditasoksi 400ppm. Ihmismäärän perusteena käytettiin olosuhdemittausten aikaan näyttelyyn osallistuneiden määrää, joka henkilökunnan mukaan oli tavanomainen. Tähän määrään lisättiin ylimitoitusta suunnittelijan näkymyksen mukainen määrä. Hiilidioksiditaso saatiin tavanomaisesta henkilöstä lähtevä määrä kevyen työn aktiviteetilla. Hiilidioksiditason tavoitetaso on rakennusmääräyskokoelman osan D2 luokan S3 mukainen. Ulkoilmavirran hiilidioksiditasoksi annettiin varmuuden välttämiseksi 400 ppm, vaikkakin mittauksissa sisällä yöaikaan hiilidioksiditaso oli 370-380 ppm, josta voidaan päätellä ulkoilman

hiilidioksiditason olevan vähintään tämän verran. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2 2012, 7) Sijoittamalla mitoituksessa käytetyt arvot kaavaan (4) saatiin seuraava yhtälö ja ulkoilmavirran määräksi  $q_{tulo} = \left( \frac{70hlö * 6,7cm^3/s}{1200cm^3/s - 400cm^3/s} \right) = 0,59m^3/s$ .

Tässä ratkaisuehdotuksessa korvausilma tuodaan osasta kellarin nykyisistä tuulettamiseen käytettävistä aukoista (kuva 7). Koska kellaritilan aukot ovat noin metrin korkeudella katutasosta, tulee ulkoseinän lumisäleikön jälkeen asentaa helposti puhtaana pidettävä esisuodatin ja tämän jälkeen kellarin puolelle laatikkosuodatin, esimerkiksi ETS Nordin BGR. Laatikkosuodattimen jälkeen asennetaan Systemairin BC 250-9,0 kanavalämmitin 400V, jonka lämpötilan asetusarvo asetetaan 18°C. Lämpötilamittaus kanavasta tulee ottaa vasta T-haaran jälkeen, jotta kanavalämmittimen lämpösäteily ei vaikuta mittaustulokseen. Kanavalämmitin on sähkötoiminen, koska alajakokeskukseen ei ole mitoitettu ilmanvaihdon lämmitystä. Kanavalämmittimen jälkeen tulee asentaa T-haara, josta ylöspäin viedään ensimmäisen kerroksen lattian läpi kanava ja lattiatasoon asennetaan säleikkö. T-haaran alapäähän asennetaan kansi, joka irroittamalla voidaan puhdistaa kanavaan tippuneet roskat ja pöly. Kaikki tuloilmakanavat tulee eristää kuvien mukaan.



KUVA 7. Kellarin tuuletusaukko (Kuva: Niki Tajakka 2016)

Tässä ratkaisuehdotuksessa kaikki tuloilmavirta tulisi ensimmäiseen kerrokseen ja tuloilmavirtojen läpiviennit jouduttaisiin kellarin paksumman muurin takia sijoittamaan keskelle lattiota, eikä seinien viereen. Toiseen kerrokseen ilma kulkee siirtoilmana avointen oviaukkojen ja porrashuoneen kautta. Toisen kerroksen seinissä ei ollut vanho-

ja aukkoja valmiina, joten käytetään ensimmäisen kerroksen siirtoilmaa. Toinen kerros on ensimmäistä kerrosta vähäisemmällä käytöllä, joten myös siirtoilmalla saadaan riittävä ilmanlaatu toiseen kerrokseen.

Huippuimurina käytetään käytetään Systemairin DVC 400-POC + FTG laitetta. Poistokanavaan asennetaan hiilidioksidi- ja lämpötila-anturi. Hiilidioksidianturit tulisi asentaa ensimmäisestä kerroksesta lähtevään runkokanavaan ja ensimmäisen ja toisen kerroksen jälkeiseen runkokanavaan. Näin saadaan luotettavampi mittaustulos ensimmäisen kerroksen vallitsevasta hiilidioksiditasosta aikoina, jolloin kerroksissa on eri määrä ihmisiä. Normaalisti ensimmäisessä kerroksessa järjestetään tapahtumat, joten näin päästään tarkempaan mittaustulokseen ja tätä kautta parempaan ilmanlaatuun. Tavanomaisessa tilanteessa, jossa sisälämpötila on alle 23°C, automatiikka säättää poistoilman määrää automaattisesti poistoilmakanavan hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Kesäisin, jolloin tilojen lämpötila voi nousta, voidaan öisin käyttää yötuuletusta silloin, kun ulkolämpötila on sisälämpötilaa viileämpi. Tällöin sisälämpötila viilennetään 21°C automatiikan avulla.

Poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen. Rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutus on todella pieni ja patteriverkoston lämpötila on niin suuri, ettei poistoilman lämmöntalteenottoa voida hyödyntää siinä. Tavanomaisessa tilanteessa poistoilmavirta on pieni, jolloin siitä saatava lämpömäärä olisi niin pieni, ettei siitä kannattavaa ottaa lämpöä talteen ja käyttää sitä tuloilman lämmittämiseen.

Poistoilmaratkaisun kustannusarvioksi saatiin Ecom kustannuslaskelmaohjelmistolla ilman rakenneteknisiä muutoksia ja ilman automaatiota noin 10 000€ verollisena. Kustannusarvio on suuntaa-antava.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyö tehtiin ratkaisukeskeisesti selvittämällä ensin kohteen sisäilman laatu ja kuinka sisäilmanlaatua voidaan parantaa. Ilmanlaadun mittarina käytettiin hiilidioksiditasoa, jota voidaan pitää ihmisperäisten epäpuhtauksien mittarina.

Kohteen edellisistä korjauksista, muutostöistä ja nykyisistä ratkaisuista tietojen löytäminen oli osittain vaikeaa, sillä osaa muutoksista ei oltu dokumentoitu. Edellisten saneerausten tekijöitä henkilöitä oli hankala tavoittaa tai heidän muistikuvansa olivat kolmen vuosikymmenen aikana haalistuneet. Pääsääntöisesti kuitenkin tietoa rakennuksesta löytyi Kokkolan kaupungin arkistoista varsin hyvin.

Olosuhdemittauksista saatiin monipuolisia tuloksia eri tilanteista. Oli tärkeää, että olosuhdemittaukset olivat käynnissä yhden tapahtuman aikana ja niiden tuloksia pystyttiin hyödyntämään ratkaisuvaihtoehtojen suunnittelussa. Valitettavasti mittauksia ei voitu suorittaa eri vuodenaikoina, jolloin olisi päästy mittaamaan myös sisälämpötiloja kesällä. Rakennuksessa on yli 60cm paksut kiviseinät, joiden voidaan olettaa varaavan paljon lämpöä ja tuovat sitä kautta uusia haasteita olosuhteiden hallintaan.

Tulokset ovat mielestäni luotettavia suhteutettuna siihen, että mittauksia ei voitu tehdä useita kertoja eri vuodenaikoina. Tuloksissa ei siis voida ottaa huomioon kesällä lämpökuormasta mahdollisesti johtuvaa lämpötilan nousua ja sen vaikutusta sisäilmastoon vaan tutkimuksissa keskityttiin hiilidioksiditasoihin.

Ratkaisuvaihtoehdot ovat linjassa tilaajan antamien suuntaviivojen kanssa ja jälkimmäisessä koneellisessa poistoilmanvaihtoratkaisussa päästään hyvin pienillä muutoksilla laskelmien mukaan hyvään ilmanlaatuun kohtuullisin kustannuksin. Ensimmäisessä ratkaisussa koneellisessa tulo- poistoilmanvaihtoratkaisussa olisi mahdollista luoda tarkasti halutut olosuhteet, mutta ratkaisu vaatisi huomattavasti enemmän läpivientejä ja kustannukset olisivat moninkertaiset verrattuna koneelliseen poistoilmanvaihtoratkaisuun. Molemmilla ratkaisuilla päästään nykytilaa parempaan ilmanlaatuun kuormitustilanteissa ja ratkaisuilla luodaan jatkuva, hallittu ilmanvaihto.

Tutkimuksia voisi jatkaa olosuhdemittauksilla eri vuodenaikoina ja selvittämällä, onko rakennuksen materiaaleissa päästölähteitä, jotka poikkeavat normaaleista. Rakennuksen lämpökuorman selvittäminen olisi myös yksi tutkimuskohde.

## LÄHTEET

Ahmas, K. 1992. Kokkolan Rakennuskulttuuria. Kokkola: Kirjapaino Antti Välikangas Ky

Fläkt Woods Oy. 2010. Ilmavirtojen mittaus ja säätöopas. Pdf. Luettu 23.1.2016.  
<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=055e1e4e-c20c-4b8d-a6af-c241375705a9>

Kosonen, R. & Sandberg, E. 2014. Päätelaitteet ja huonelaitteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Ripatti, H. & Sandberg, E. 2014. Ilmastointijärjestelmät. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sammutuslaitteistot. 2012. LVI-ohjekortti 65-10512. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS

Sandberg, E. & Koskela, H. 2014. Ilmavirran mitoitusperiaatteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

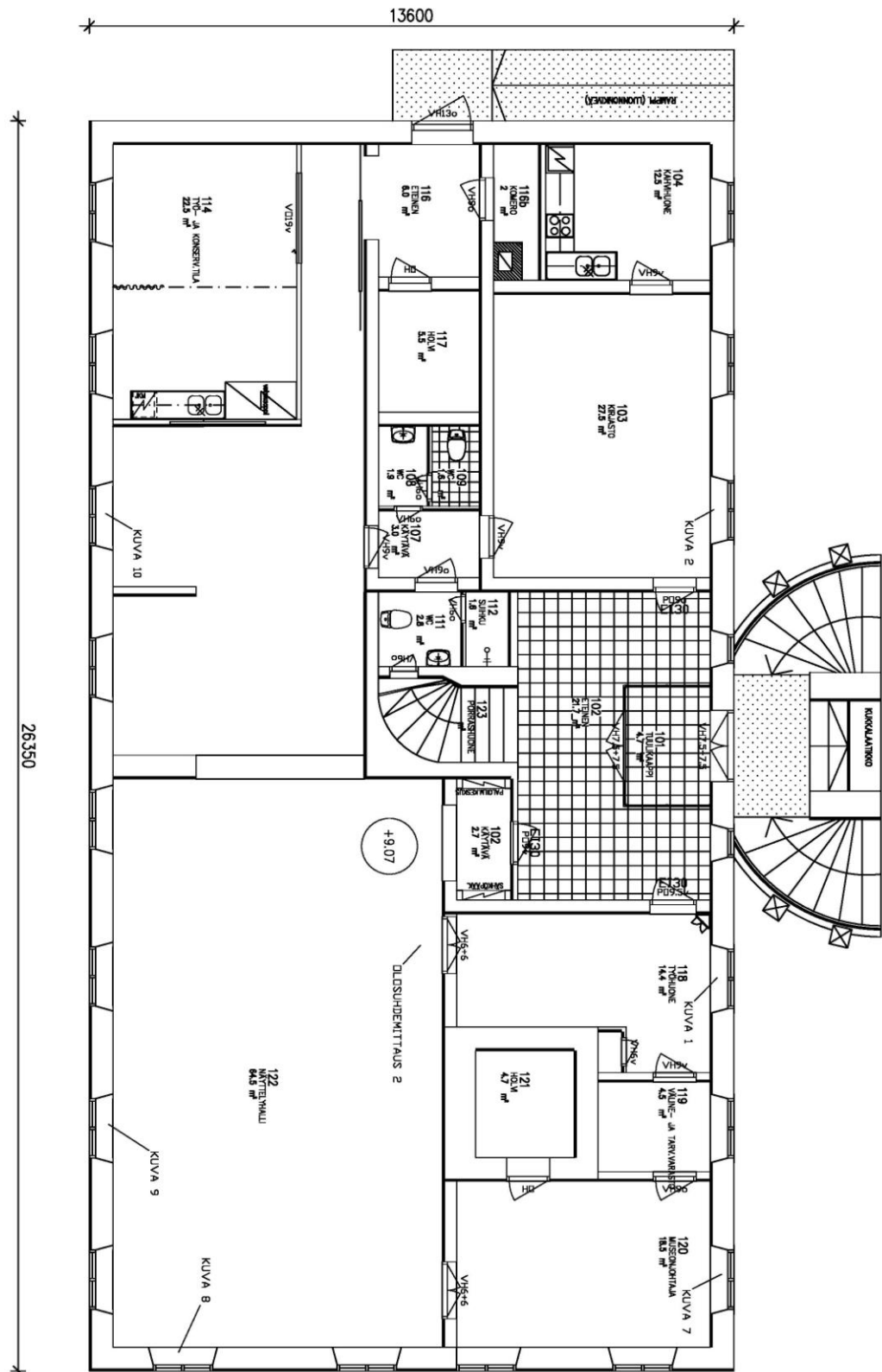
Sandberg, E. & Ripatti, H. 2014. Ilmanvaihtojärjestelmät. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sisäilmastoluokitus 2008. 2009. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI-ohjekortti 05-10440. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.

Säteri, J. & Koskela, H. 2014. Sisäilmasto. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

1 KERROS





Liite 2. Toisen kerroksen lämpökamerakuvaus ja olosuhdemittausten paikat. (Kokkolan Kaupunki 2008.)

